

Über die Einteilung des Porenraumes und den Zusammenhang zwischen den Porenverhältnissen und dem genetischen Bodentyp

A. KLIMES-SZMIK

Forschungsinstitut für Bodenkunde und Agrikulturchemie der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, Budapest

Die wichtigsten Eigenschaften des Wasserhaushaltes des Bodens werden von der Porengrößenverteilung und deren Änderungen in Abhängigkeit vom jeweiligen Feuchtigkeitsgehalt bedingt. Die Porenverhältnisse gestalten sich weiterhin unter dem Zusammenwirken derjenigen Faktoren, deren Gesamtheit im Begriff Bodentyp zusammengefaßt wird. Die Qualität der Bodenkolloide, die Kornzusammensetzung und die Struktur des Bodens sind von diesen die wichtigsten. Letzten Endes besteht zwischen dem genetischen Typ und dem Wasserhaushalt des Bodens engster Zusammenhang.

Es sind zur Einteilung des Porenraumes mehrere Systeme bekannt. Manche aber eignen sich nicht zufriedenstellend zur Charakterisierung der vom Typ und Feuchtigkeitszustand des Bodens abhängenden Änderungen im Porenraum, andere beanspruchen dagegen viel Arbeit und kostspielige Messapparaturen und eignen sich infolgedessen kaum zu Serienuntersuchungen und können nicht weite Verbreitung finden.

Zur Beseitigung dieser Mängel haben wir eine einfache Messmethode und in Einklang damit eine Poreneinteilung entwickelt, nach welcher auf Grund der Beweglichkeit des Wassers im Boden charakteristische Porengruppen abgegrenzt werden. Die Untersuchungen werden an Strukturproben ausgeführt, welche einmal dem bis zur Feldkapazität gesättigten zum anderen dem etwa bis zum Welkepunkt ausgetrockneten Boden entnommen worden sind. Der Boden wird also in relativ feuchtem (angequollenem) und trockenem (geschrumpfenem) Zustand untersucht.

Der zur Probenentnahme verwendete Strukturborher besteht aus drei Teilen: aus einer mit geschliffener Unterkante versehener Stahlröhre an welcher der Stiel oben mit Bajonettverschluß befestigt ist und aus Einsatzzylindern aus Messing. Die entnommene Bodensäulen sind 10 cm hoch mit 5 cm Durchmesser [4]. Im Labor wird zunächst die kapillare und die maximale Wasserkapazität bestimmt. Dann messen wir die Durchlässigkeit für Wasser und die Bodensäule wird nachher zum Absickern auf trockenem Sand gestellt. Schließlich wird die Bodenprobe im Trockenschrank bei 105° C getrocknet und gewogen. Bei Kenntnis des spezifischen Gewichtes und des ermittelten Trockenraumgewichtes berechnen wir mit der bekannten Formel die Gesamtporosität. Die Sättigungszeit beträgt in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt bei der Probenentnahme, vom Typ und Art des Bodens 2—4, die Zeit des Absickerns 4—6 Tage. Während der Durchflußmessung ist die Bodensäule mit einer 5 cm

hohen Wasserschicht bedeckt. Die Oberfläche der Bodensäulen beträgt $18,1 \text{ cm}^2$.

Auf Grund der berechneten Gesamtporosität (P) und der ermittelten Wasserkapazitätswerte (Wk_{\max} = maximale, Wk_{kap} = kapillare, Wk_{\min} = minimale Wasserkapazität) werden die nachstehenden Porenräume bzw.-gruppen abgegrenzt:

- $P - Wk_{\max} = P_{L, \min}$ (der im gesättigten Boden eingeschlossene Luft enthaltende Porenraum);
 $Wk_{\max} - Wk_{\text{kap}} = P_g$ (der Gravitations-Porenraum in engerem Sinn);
 $Wk_{\text{kap}} - Wk_{\min} = P_{\text{kap.g}}$ (der kapillare Gravitations-Porenraum in welchem die Kapillarkräfte in Abhängigkeit von der Tiefe des freien Wasserspiegels Wasser festhalten);
 $Wk_{\min} = P_{\text{kap}}$ (der kapillare Porenraum in welchem kapillare und Sorptionskräfte das Wasser entgegen der Gravitation festhalten).

Wenn die einzelne Poren mit p bezeichnet werden, dann ist ihre Größenordnung, wie folgt: $P_{\text{kap}} < P_{\text{kap.g}} < P_g$.

Eingeschlossene Luft enthaltende Poren können hier nicht eingereiht werden, weil diese von verschiedener Größe sind, bei ihrer Abgrenzung spielt vorwiegend ihre Form die Hauptrolle.

Unsere Untersuchungsergebnisse sollen am Beispiel von vier Böden, die hinsichtlich Bodenart und Bodentyp verschieden sind, erörtert werden. Diese sind:

1. ein lessivierter brauner Waldboden auf sandigem Löß (Ka) unter Waldbestand. Bodenart: Sandiger, im B-Horizont schwerer Lehm;
2. ein typischer Tschernosem mit Kalkmyzelien auf Löß (Nh). Ackerboden. Bodenart: Schluffhaltiger Lehm;
3. ein Wiesentschernosem auf Infusionslöß (Ba). Ackerboden. Bodenart: Ton.
4. ein Erubasboden auf Andezit (Nm), unter Waldbestand. Bodenart: Schwerer Lehm.

Die Porenverhältnisse im Profil in relativ feuchtem (a) und trockenem (b) Zustand des Bodens werden in Abb. 1—4 veranschaulicht.

Die Gesamtporosität beträgt in den untersuchten Bodenprofilen im Durchschnitt: (Ka) 46,1, (Nh) 52,8, (Ba) 50,6, und (Nm) 60,1 %. Die größte Abweichung vom Durchschnitt findet man naturgemäß im B-Horizont des lessivierten braunen Waldbodens.

Der Tschernosem mit Kalkmyzelien (Nh) und der Erubasboden (Nm) haben ausgeprägt krümelige Struktur. Zwar bestehen Unterschiede hinsichtlich Art und Lagerung, doch ändert sich ihre Gesamtporosität in Anhängigkeit vom Feuchtezustand kaum. Die Gesamtporosität des kompakten aber leichteren lessivierten braunen Waldbodens (Ka) ist in dem Horizonten A und B in feuchtem Zustand etwas größer als in trockenem. In dem schweren und kompakten Wiesentschernosem (Ba) schwankt schließlich diese Größe zwischen ziemlich weiten Grenzen in Abhängigkeit vom Feuchtigkeitsgehalt. Beträchtliche Quellung bzw. Schrumpfung ist wahrnehmbar. Der Ausmaß derselben wird aber in vertikaler Richtung stets kleiner, weil das Gewicht der oberen Bodenmassen auf die unteren einen mit der Tiefe proportional anwachsenden Druck ausübt und entsprechend kleinere Raumänderungen zuläßt.

Tabelle 1.
Das Verhältnis des Gravitations- (P_g) und kapillaren Gravitations-Porenraumes zueinander $(P_{kap.g})$ im Profil und die Werte der Wasserdurchlässigkeit

(1) Das Parameter		(2) Die genetischen Horizonte					(3) Durchschnitt im Profil
		A	AB	B	BC	C	
<i>Lessivierter brauner Waldboden (Ka)</i>							
$P_G \%$	a	8,5	9,6	4,4	6,8	9,6	7,8
	b	13,1	13,5	10,4	8,7	12,5	11,6
$100 \cdot P_G$	a	17,1	20,4	10,0	15,0	19,3	16,3
$\frac{P}{P_G}$	b	28,1	30,0	24,9	20,7	25,3	26,0
$100 \cdot P_{kap,g}$	a	63,5	81,3	56,8	75,0	65,6	68,4
$\frac{P_G}{P_{kap,g}}$	b	67,9	74,1	89,4	89,7	96,0	83,4
Wdl · mm/h	a	10,2	13,8	4,4	4,7	11,4	8,9
<i>Tschernosem mit Kalkmyzelien (Nh)</i>							
$P_G \%$	a	19,9	11,5	17,6	19,0	19,9	17,6
	b	22,9	14,7	17,8	19,1	20,0	18,9
$100 \cdot P_G$	a	36,8	23,1	32,2	34,9	36,3	32,6
$\frac{P}{P_G}$	b	42,6	30,8	33,0	34,8	36,3	35,5
$100 \cdot P_{kap,g}$	a	53,8	63,5	52,3	50,0	47,0	49,3
$\frac{P_G}{P_{kap,g}}$	b	44,1	44,9	51,1	50,0	46,7	47,4
Wdl · mm/h	a	85,0	36,9	166,7	168,0	170,3	125,4
	b	162,0	45,9	189,1	191,5	193,4	156,4
<i>Wiesenschernosem (BA)</i>							
$P_G \%$	a	14,3	7,0	14,0	10,5	6,6	10,5
	b	16,8	9,8	14,8	15,0	8,5	13,0
$100 \cdot P_G$	a	24,1	14,2	27,0	20,0	14,4	19,9
$\frac{P}{P_G}$	b	31,8	21,1	32,1	28,8	18,7	26,5
$100 \cdot P_{kap,g}$	a	42,7	67,1	50,7	84,8	84,8	66,0
$\frac{P_G}{P_{kap,g}}$	b	61,3	75,5	67,6	93,3	85,9	76,7
Wdl · mm/h	a	42,0	92,5	53,4	64,9	108,3	72,2
	b	455,2	223,7	323,2	104,0	148,1	250,2
<i>Erubasboden (Nm)</i>							
$P_G \%$	a	22,8	20,5	14,7	12,6		17,7
	b	34,9	17,2	16,9	15,6		21,2
$100 \cdot P_G$	a	34,3	33,8	25,5	22,0		28,9
$\frac{P}{P_G}$	b	51,9	30,3	28,8	27,9		34,7
$100 \cdot P_{kap,g}$	a	32,0	36,1	40,1	23,0		32,8
$\frac{P_G}{P_{kap,g}}$	b	9,4	23,2	19,0	32,0		20,8
Wdl · mm/h	a	163,7	190,1	479,1	353,6		296,6
	b	859,1	464,1	366,9	256,4		485,9

Solange der Ausmaß der Quellung und Schrumpfung von mehreren Standortsfaktoren abhängt — und es gibt auch solche Böden in welchen diese Erscheinungen nicht mit Raumveränderungen verknüpft sind — widerspiegeln sie sich jedoch in jedem Boden in Form von Veränderungen in der Verteilung der von uns abgegrenzten Porengruppen. Am empfindlichsten ändert sich in Abhängigkeit vom Feuchtezustand die Größe des kapillaren Gravitations- $(P_{kap.g})$ und die des Gravitations-Porenraumes (P_g) . Die beiden werden unter der Bezeichnung P_G zusammengezogen als Gravitations-Porenraum in weiterem Sinn und sind gemeinsam auch für die Wasserdurchlässigkeit des Bodens

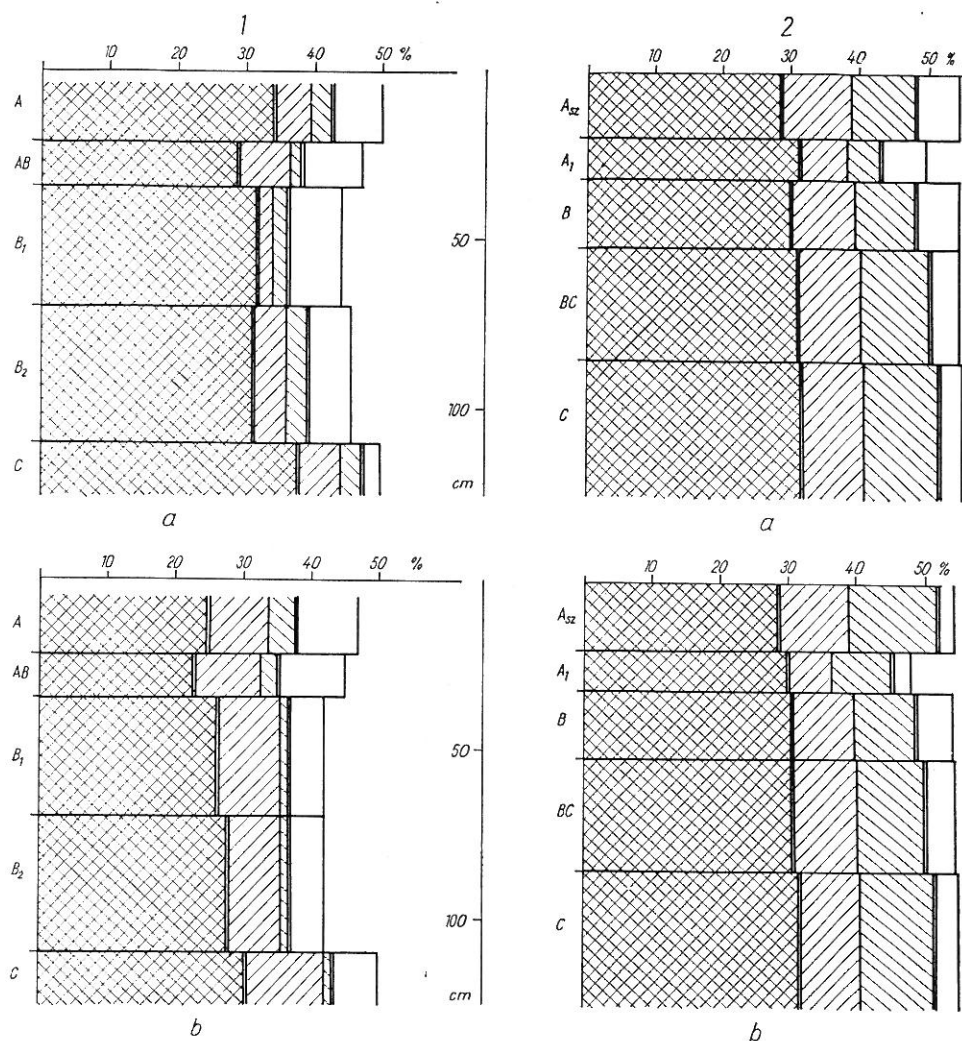


Abb. 1.

Die Porenverhältnisse im lessivierten braunen Waldboden (1) und im Tschernosem mit Kalkmyzelien (2) in naßem (a) und in trockenem (b) Boden

größtenteils verantwortlich. Diese Behauptungen werden durch die in Tabelle 1. angeführten Angaben unterstützt.

Wenn wir in Tab. 1. die Durchschnittswerte der angeführten Kennwerte betrachten wird klar ersichtlich, daß für unsere Versuchsböden in Bezug auf die Größe des P_G folgende Reihenfolge zutrifft: $Ka < Ba < Nh < Nm$. Dieselbe Reihenfolge gilt auch für die relativen Größen (die auf die Gesamtporosität bezogenen Werte) des P_G mit dem unwesentlichen Unterschied, daß diese in Böden mit krümeliger Struktur (Nh, Nm) einander fast gleich sind. In der Beziehung des Verhaltens dieses Parameters in relativ feuchtem (a) und in

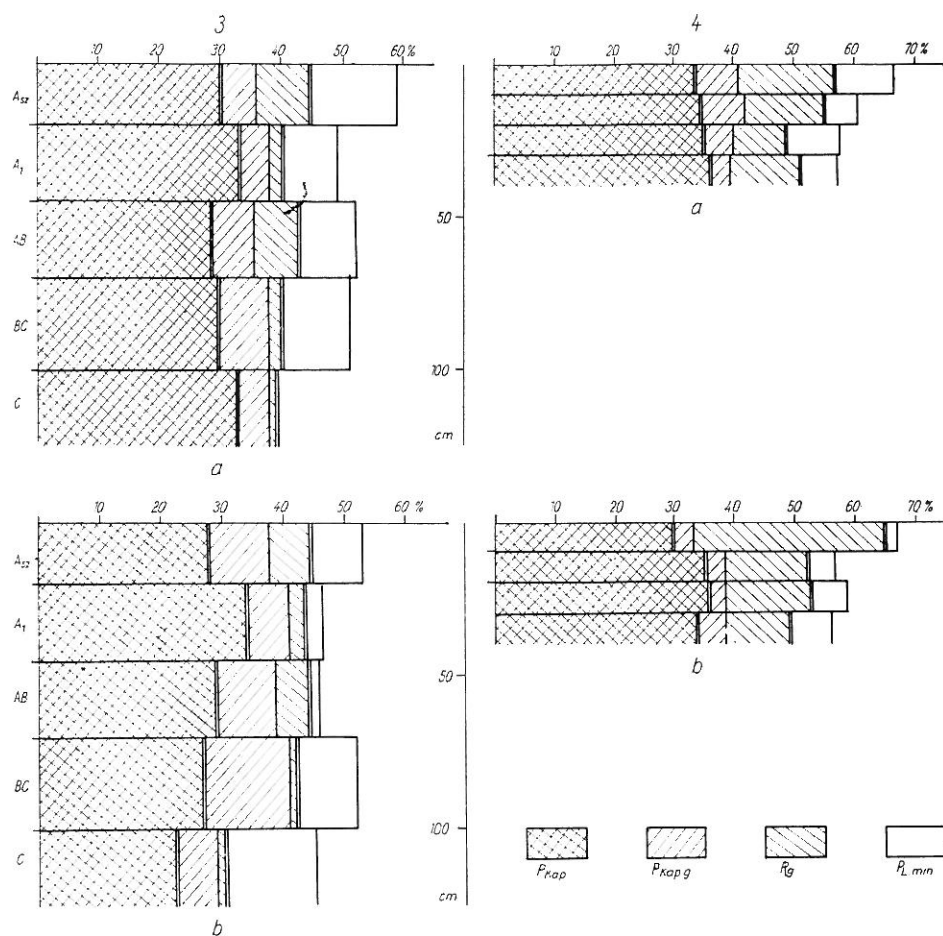


Abb. 2.

Die Porenverhältnisse im Wiesentschernosem (3) und im Erubasboden (4) in naßem (a) und trockenen (b) Zustand

trockenem (b) Boden weichen auch die ersteren mit Krümelstruktur und lockerer Lagerung von den Kompakten und dichtgelagerten Böden (Ba, Ka) beträchtlich ab. In den ersteren stehen die beiden Werte näher zu einander als in den letzteren. Quellung und Schrumpfung zeigen sich in gleicher Weise in den absoluten und relativen Werten von P_G .

Für die Größe des in Prozentes von P_G ausgedrückten kapillaren Gravitations-Porenraumes ($P_{kap,g}$) gilt folgende Reihe: $Nm < Nh < Ba < Ka$, d. h., gerade die umgekehrte der oben besprochenen. Das steht aber in vollem Einklang mit den Struktureigenschaften der untersuchten Böden. Je kompakter der Boden, desto größeren Teil nimmt $P_{kap,g}$ von P_G ein. Infolge Befeuchtung wächst der kapillare Gravitations-Porenraum in Waldböden (Ka) und im Wiesentschernosem (Ba) an, in typischen Tschernosem (Nh) mit dem günstigsten Wasserhaushalt ändert er sich kaum, wird im Erubasboden (Nm) dagegen

kleiner ohne aber dadurch den Charakter des Gravitations-Porenraumes (P_G) im weiteren Sinn zu verändern.

Diese Bestätigung ist auch dann gültig, wenn man die Porenverhältnisse in den einzelnen Horizonten betrachtet. Die ungünstigsten Verhältnisse finden wir — im Einklang mit der Erfahrung und Beobachtungen am Feld — im B-Horizont des lessivierten braunen Waldbodens.

Die Wassermenge, welche die Feldkapazität überschreitet, sickert im Gravitations-Porenraum im weiteren Sinn (P_G) in die tiefer liegende Bodenschicht ab. Die in Tab. 1. angeführten Wasserdurchlässigkeitswerte (Wdl.) sind im großen und ganzen mit der Größe und dem Charakter des P_G im Einklang. Die Differenz dieser Werte in feuchtem und trockenem Boden ist aber größer als diejenige der entsprechenden Größen von P_G . Der Grund dafür liegt offensichtlich in der Tatsache, daß auch die Menge des gebundenen Wassers, welche die Wasserdurchlässigkeit beeinflusst, in Abhängigkeit vom Feuchtezustand des Bodens stark variiert.

Die Menge derselben wird in üblicher Weise auf Grund der Hygroskopizität des Bodens berechnet. Das ist aber falsch und deshalb haben wir den vom gebundenen Wasser eingenommenen Porenraum auf Abb. 1—4. nicht vom kapillaren Porenraum getrennt dargestellt. Zur Beseitigung dieses Mangels haben wir weitere Untersuchungen eingeleitet.

Zusammenfassung

1. Es wurde ein Verfahren auf Grund der Beweglichkeit des Wassers zur Einteilung des Porenraumes im Boden entwickelt. Folgende Porengruppen wurden abgegrenzt: der eingeschlossene Luft enthaltende Porenraum ($P_{L,min}$), der Gravitations-Porenraum in engerem Sinn (P_g), der kapillare Gravitations- ($P_{kap,g}$) und der kapillare Porenraum (P_{kap}).

2. $P_{kap,g}$ und P_g werden als Gravitations-Porenraum im weiteren Sinn (P_G) zusammengefaßt. In Böden mit tiefem Grundwasserstand sickert in diesem Gravitations-Porenraum das Wasser unter der Wirkung der Gravitationskräfte in tiefere Bodenschichten ab. Die Größe dieses Porenraumes und das gegenseitige Verhältnis seiner Komponenten ändert sich mit dem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens. Er weist demnach engen Zusammenhang mit der Quellung und Schrumpfung des Bodens auf und beeinflusst auch wesentlich die Durchlässigkeit für Wasser im Profil.

3. Die von uns vorgeschlagene Differenzierung des Gesamtporenraumes wird an vier Böden von verschiedenem Typ und verschiedener Korngrößenzusammensetzung veranschaulicht. Die Porenverhältnisse zeigen gute Übereinstimmung mit den Beobachtungen am Feld.

4. Das Prinzip der üblichen Abgrenzung des vom gebundenen Wasser eingenommenen Porenraumes ist nicht stichhaltig. Diesbezügliche Untersuchungen wurden eingeleitet.

5. In großen Zügen wurde das zur Poreneinteilung notwendige Meßverfahren beschrieben.

The Classification of the Pore Space of the Soil and the Relation of Porosity to the Genetic Soil Type

A. KLIMES-SZMIK

Research Institut of Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences
Budapest

Summary

The total porosity of soil can be divided by the mobility of soil moisture in four pore spaces. These are the spore spaces containing enclosed air ($P_{L,min}$), the gravitation pore space in the narrower sense (P_g), the gravitation-capillary ($P_{cap,g}$) and the capillary

(P_{cap}) pore space. The basis of this division is supplied by three water capacity values determined in the laboratory on soil samples of natural structure ($W_{c_{max}}$, $W_{c_{cap}}$, $W_{c_{min}}$).

The sampling equipment and the principle of measurements are briefly discussed. The results of measurements and the pore division suggested are presented on the profiles of four soils of different type and stiffness.

Measurements should be carried out both on samples moistened to the natural water capacity and on samples taken from comparatively dry soil, which makes it possible to characterize the changes of porosity due to swelling and shrinking respectively.

In liquid condition the water can move in the gravitation and capillary-gravitation pore spaces of the soil. These two pore spaces together are named gravitation pore space in wider sense (P_G). While swelling occurring as a result of moistening does not cause in all soils increase of total pore space, the relative magnitude of the gravitation pore space in a wider sense and of its components sensitively changes depending on the moisture condition of all soils. The profiles presented verify that P_G is an important physical index of the soil type.

In the pore division suggested the pore space containing bound water was not delimited as yet. It is generally usual at present to calculate the size of this pore space by the hygroscopicity of the soil. As shown by the values for water permeability, this is obviously incorrect because depending on the moisture condition of the soil the amount of the bound water too is subject to changes. Investigations concerning this subject are in progress.

Fig. 1. The distribution of the total porosity in a brown forest soil "lessivé" (a) and in a chernozem with carbonate mycelia (2) in moist (a) and dry (b) state respectively.

Fig. 2. The distribution of the total porosity in a meadow chernozem (3) and in an erubas soil (4) in moist (a) and dry (b) state.

Table 1. The development of gravitation and capillary-gravitation pore space in the svaked (a) and comparatively dry (b) soil and the values of water permeability. (1) The soil characteristic. (2) The genetic horizons. (3) Profile average. (Ka) Brown forest soil lessivé. (Nh). Typical chernozem with carbonate mycelia. (Ba) Meadow chernozem. (Nm) Black "nyirok" soil.

Classification de l'espace poreux des sols et corrélation de porosité avec les types génétiques

A. KLIMES-SZMIK

Institut de Recherches de Pédologie et de Chimie Agricole de l'Académie des Sciences de Hongrie, Budapest

Résumé

L'on peut diviser la porosité totale d'un sol en quatre sortes d'espaces poreux. Ce sont les pores contenant de l'air occlus ($P_{l_{min}}$), les pores à gravitation au sens restreint (P_g), les pores à gravitation — capillaires ($P_{kap.g}$) et les pores capillaires (P_{kap}). La base de la division est fournie par trois valeurs de capacité d'eau obtenues au laboratoire sur des échantillons de sols à l'état naturel ($V_{k_{max}}$, $V_{k_{kap}}$, $V_{k_{min}}$).

Nous décrivons brièvement l'outillage pour prendre les échantillons et le principe des mesurages. Nous présentons sur quatre profils de sols de différentes consistance et types les résultats des mesurages et la classification des pores préconisée par nous.

Nous effectuons les mesurages aussi bien sur les échantillons de sol humectés jusqu'à la capacité d'eau naturelle et sur les échantillons prélevés du sol relativement sec. Cela permet de caractériser les changements de porosité survenus sous l'effet du gonflement et du rétrécissement, respectivement.

A l'état fluide l'eau peut se mouvoir dans l'espace à gravitation et dans l'espace capillaire à gravitation. Ces deux espaces forment ensemble l'espace à gravitation au sens large (P_G). Tandis que le gonflement causé par l'humectation n'induit pas dans tous les sols l'accroissement de la porosité totale, la grandeur relative de la porosité à gravitation au sens large et de ses composants change sensiblement rapport avec l'état d'humidité de tous les sols. Les profils présentés prouvent que P_G est un caractère physique important du type du sol.

Dans la classification préconisée nous n'avons pas encore délimité l'espace poreux contenant de l'eau fixe. La grandeur de cet espace est calculée généralement d'après l'hygroscopicité du sol.

Les valeurs de la perméabilité prouvent que ce procédé est sans doute erroné, parce que la quantité d'eau fixée change en rapport de l'état d'humidité du sol. Nos études y relatives sont en cours.

Figure 1. La distribution des pores dans le sol brun forestier lessivé (1) et dans le chernozem à mycelium calcaïque (2) à l'état humide (a) et sec (b).

Figure 2. La distribution des pores dans le chernozem de prairie (3) et dans le sol érubasique (4) à l'état humide (a) et sec (b).

Tableau 1. Distribution de l'espace poreux à gravitation et à gravitation-capillaire dans le sol humecté (a) et dans le sol relativement sec (b) et les valeurs de la perméabilité. (1) Caractéristique du sol. (2) Les horizons génétiques. (3) Moyennes des horizons. (ka): Sol brun forestier à illuviation argileuse. (Nh): Chernozem typique à efflorescences calcaires. (Ba): Chernozem de prairie. (Nm): Sol argileux noir.

Классификация порозности почвы и связь её с генетическим типом почвы

А. КЛИМЕС-СМЫК

Научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии А. Н. Венгрии, Будапешт

Резюме

На основании подвижности влаги общую порозность почвы разделили на четыре категории: поры занятые воздухом ($P_{\text{л. min}}$), собственно гравитационные поры (P_G), гравитационно-капиллярные поры ($P_{\text{кар. g}}$), капиллярные поры. ($P_{\text{кар.}}$).

Для выделения этих категорий пор послужили данные лабораторных определений влагоемкости трех почвенных образцов с ненарушенной структурой. (VK_{max} , $VK_{\text{кар}}$, $VK_{\text{мин}}$).

В статье излагаются принципы определений и описание оборудования для взятия образцов с ненарушенной структурой. Приводятся данные по определению четырех категорий пор на примере четырех типов почв различной связности.

Определение порозности проводилось как на образцах с влажностью равной полевой влагоемкости, так и на образцах относительно сухих. Это дает возможность проследить изменение порозности в зависимости от набухания и от сжатия при высыхании.

В жидком состоянии вода может двигаться по гравитационным и капиллярно-гравитационным порам. Эти две категории вместе мы называем, в широком смысле слова, гравитационными порами (P_G). При набухании общая порозность изменяется не во всех почвах, а гравитационная порозность (P_G) в каждой почве существенно изменяется в зависимости от влажности. Данные показывают, что величина P_G является важной физической константой для характеристики почвы.

В предложенной нами классификации пор не выделены поры, содержащие т. н. связанную воду. Вычисление этой порозности до сих пор ведется по данным гидроскопичности почв. Мы считаем, что подобное вычисление не совсем правильно, т. к. количество связанной воды изменяется также в зависимости от влажности почвы. Работы в этой области продолжаются.

Рис. 1. Порозность иллимизированной бурой лесной почвы (1) и мицелярного чернозема (2) во влажном (а) и сухом (в) состоянии.

Рис. 2. Порозность лугового чернозема (3) и эрубазонной почвы (4) во влажном (а) и сухом (в) состоянии.

Табл. 1. Изменение гравитационных, капиллярно-гравитационных пор во влажной (а) и относительно сухой (в) почве, а также данные по водопроницаемости. (1) Свойства почвы. (2) Генетические горизонты. (3) Средние данные по разрезу. (K_a) Иллимизированная бурая лесная почва. (N_n) Типичный мицелярный чернозем. (Ba) Типичный луговой чернозем. (N_m) Черный нирок.